

**PENYISIHAN BOD DAN COD DALAM LINDI PADA *CONSTRUCTED WETLAND* MENGGUNAKAN *TYPHA ANGUSTIFOLIA* DENGAN PENGARUH DEBIT DAN JUMLAH TUMBUHAN YANG BERBEDA
(STUDI KASUS : TEMPAT PEMBUANGAN SAMPAH KAWASAN INDUSTRI TERBOYO, SEMARANG, JAWA TENGAH)**

Dyvia Ariany T^{*} ; Badrus Zaman^{} ; Titik Istirokhatun^{**})**

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Uversitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, S.H Tembalang - Semarang, Kode Pos 50275 Telp. (024)76480678, Fax (024) 76918157
Website : <http://enveng.undip.ac.id> - Email: enveng@undip.ac.id

Abstract

Leachate is not only formed in landfill site but also in contaminated wetland. One of the appropriate technology to treat leachate biologically is by using wetland technology. Reeds (Typha Angustifolia) is one of the plants that can be used as pollutant adsorbent and also contain aerobic microbes in constructed wetland treatment method. Reeds (Typha Angustifolia) have many advantages, first of all reed is weeds which also capable to adsorb big amount of nutrients and the roots have many fibers. Moreover Typha Angustia can easily grow anywhere, and resistant to any conditions. This study has been done for nine days after acclimatization. There are 9 reactors consist between 1, 3 and 5 plants with discharge for each one is 8 liters/day, 10 liters/day, and 12 liters/day. And 3 reactors control without Typha Agustifolia. This reactor was made by duplo. each reactor filled with same leachate. The sample taken every 3 days and measure BOD and COD consentration. The magnitude of the removal efficiency for each reactor is : For BOD concentrated which is second reactor with 3 plants and discharge of about 8 liters/day up to 94,60%, sixth reactor has 5 plants and discharge about 10 liters/day has BOD concentration up to 91,74%, and ninth reactor has BOD concentration up to 88,87% with 5 plants and discharge of about 12 liters/day. Meanwhile for control tub is increasing in first control tube with discharge of about 8 liters/day has BOD concentration up to 83,14%. For COD concentrate which second reactor with 3 plants discharge of about 8 liters/day up to 94,54%, sixth reactor with 5 plants discharge of about 10 liters/day has COD concentrate up to 92,32%, and ninth reactor with 5 plants discharge of about 12 liters/day has COD concentrate up to 90,83%. And for control, especially first controlltube is increase up to 86,87% with discharge about 8 liters/day

Keywords : *Leachate, Constructed Wetland, Typha Angustifolia*

A. Pendahuluan

Lindi adalah kombinasi dari perembesan dan pengendapan secara langsung dari cairan yang keluar dari penggabungan material limbah di tempat pembuangan akhir sampah. Lindi meresap kebawah dari tempat pembuangan sampah berdasarkan gaya gravitasi. Komposisi air lindi sangat bervariasi karena proses

pembentukannya dipengaruhi oleh karakteristik sampah (organik-anorganik), mudah tidaknya penguraian (larut-tidak larut), kondisi tumpukan sampah (suhu, pH, kelembaban, umur), karakteristik sumber air (kuantitas dan kualitas air yang dipengaruhi iklim dan hidrogeologi), ketersediaan nutrien dan mikroba, dan kehadiran *inhibitor*. Pada umumnya air lindi memiliki

nilai rasio BOD5/COD sangat rendah ($<0,4$). Nilai rasio yang sangat rendah ini mengindikasikan bahwa bahan organik yang terdapat dalam air lindi bersifat sulit untuk didegradasi secara biologis [1].

Pengolahan lindi bertujuan untuk mengurangi *suspended solid*, zat organik yang terdegradasi, *pathogen* merugikan, kandungan logam berat, *inorganic dissolve solid* serta untuk mengantisipasi kandungan zat-zat yang dapat merugikan kesehatan manusia. Salah satu teknologi tepat guna untuk pengolahan lindi secara biologis adalah *wetland technology*. Sistem *wetland technology* memanfaatkan sinar matahari dan tanaman yang berfungsi memfilter bahan pencemar dengan bantuan mikroorganisme yang tumbuh di perakaran tanpa menambahkan bahan-bahan kimia dan prosesnya berjalan alami.

Sistem *constructed wetland* dengan aliran dibawah permukaan tanah (VSSF) menjadi pilihan dalam upaya pengolahan lindi dalam penelitian ini. Tumbuhan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan tumbuhan yang hidup dilahan basah Tempat Pembuangan Sampah Kawasan Industri Terboyo, Semarang, Jawa Tengah. Tumbuhan yang digunakan yaitu alang-

alang (*Typha Angustifolia*). *Typha Latifolia* ini tumbuh di semua tempat yang tergenangi air tsunami. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman tersebut mampu bertahan hidup pada kondisi daerah yang tercemar. Dalam taksonomi tumbuhan ini menempati sistematik sebagai berikut:

1. Klasifikasi

Kingdom	<i>Plantae</i> (Tumbuhan)
Subkingdom	<i>Tracheobionta</i> (Tumbuhan berpembuluh)
Super Divisi	<i>Spermatophyta</i> (Menghasilkan biji)
Divisi	<i>Magnoliophyta</i> (Tumbuhan berbunga)
Kelas	<i>Liliopsida</i> (Berkeping satu / monokotil)
Sub Kelas	<i>Commelinidae</i>
Ordo	<i>Typhales</i>
Famili	<i>Typhaceae</i>
Genus	<i>Typha</i>
Spesies	<i>Typha Angustifolia</i>



Gambar 1. Tumbuhan *Typha Angustifolia*



B. Metodologi

Secara keseluruhan pelaksanaan penelitian dibagi dalam tiga tahapan, meliputi :

1. Tahap Persiapan

Mencari dan mempelajari literatur, jurnal, buku terkait pengolahan limbah lindi dengan *wetland* untuk dijadikan pedoman. Kemudian melakukan persiapan alat dan bahan yang akan digunakan, melakukan penanaman tumbuhan yang masih bonngol pada pasir selama 2 bulan. Langkah selanjutnya pengayakan pasir menggunakan

ayakan berdiameter 4,16 mm; 2,16 mm; dan 0,76 mm. Setelah itu tahap pembuatan reaktor : a) Drum ukuran 200 liter untuk tempat penampungan air lindi, lubangi bagian bawah *drum* dengan diameter 1 inchi;

b) Kaleng ukuran 20 liter, sambungkan drum lindi ke bak reaktor dengan pipa ukuran 1 inchi (*influent*) menggunakan pipa PVC. Lubangi bagian bawah bak reaktor dengan ukuran pipa 1 inchi, pasangkan selang infus (*effluent*) untuk mengontrol besaran debit yang keluar. c) Ember berukuran 80 liter sebagai bak equalisasi lindi yang akan dialirkan ke bak penampung diberi pompa dan pipa 1,5 inchi yang akan menyedot lindi. Setelah reaktor selesai langkah selanjutnya yaitu penjenruhan reaktor yang dilakukan selama 2 hari. Setelah penjenruhan selesai, maka dilakukan tahap penelitian.

Gambar 2. Proses Pengayakan Pasir



Gambar 3. Proses Penjenuhan Reaktor



Gamba

r 4. Pengambilan Sampel saat *Running*

2. Tahap Penelitian

Pada tahap ini dilakukan proses aklimatisasi yang memakan waktu selama 1 minggu dengan menggunakan lindi. Setelah aklimatisasi berhasil maka dilakukan tahap *running* yaitu dengan penyisihan konsentrasi BOD dan COD, *running* dilakukan selama 9 hari, pengambilan sampel dilakukan 3 hari sekali. Setelah *running* selesai, tahap selanjutnya yaitu menganalisis data yang telah didapat dari uji BOD dan COD. Analisis data dilakukan menggunakan excel, Sedangkan untuk menganalisa hubungan antara jumlah tumbuhan dan debit dengan penurunan COD dan BOD didapatkan

dengan menggunakan analisa bivariat dengan analisis korelasi pearson (Pearson Bivariate Correlation) menggunakan bantuan software SPSS untuk mengetahui ada tidaknya hubungan antara banyaknya jumlah tumbuhan dan debit dengan penurunan konsentrasi COD dan BOD pada lindi. Dari data konsentrasi COD dan BOD serta debit dan jumlah tumbuhan yang telah didapatkan akan dibobotkan kemudian di input ke dalam software SPSS.

SPSS 16.0 dengan metode korelasi, regresi, dan Uji T.

C. Hasil dan Pembahasan

1. Karakteristik *Influent*

Dari penelitian ini didapat hasil sebagai berikut :

2. *Running*

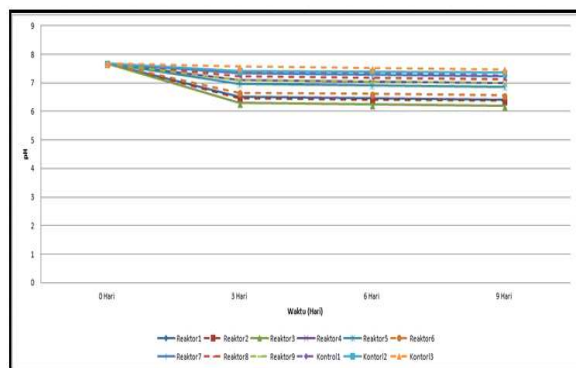
2.1 pH dan Suhu

pH dan suhu merupakan parameter penting yang mempengaruhi pertumbuhan dan kinerja mikroorganisme dan pertumbuhan dari *Typha Angustifolia*.

Dapat dilihat pada grafik dari data pH pada masing-masing reaktor, pada hari ke-0 dari masing-masing reaktor memiliki hasil yang sama. Hal tersebut dikarenakan hasil influent dari masing-masing reaktor bernilai sama. Selanjutnya untuk hari ke-3 hingga hari ke-9 pH pada masing-masing reaktor terbilang konstan, tidak ada perubahan secara drastis dari pH masing-

masing reaktor. pH berkisar pada rentang 6,19 – 7,57. Sedangkan pH optimum untuk *Typha Angustifolia* berkisar antara 5,25 – 7,25 (Bo Ah, 2007). Berdasarkan analisis pH terlihat masih memungkinkan terjadinya pertumbuhan bakteri, dan pH dari masing-masing reaktor termasuk kedalam pH optimum untuk pertumbuhan *Typha Angustifolia*. Berikut data pH pada masing-masing reaktor pada tabel :

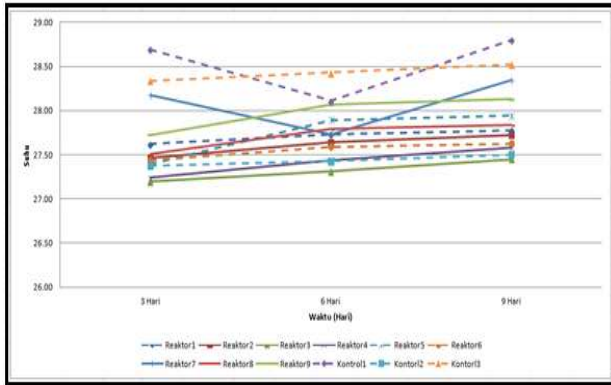
Hari Pengukuran	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3	Reaktor 4	Reaktor 5	Reaktor 6	Reaktor 7	Reaktor 8	Reaktor 9	Kontrol 1	Kontrol 2	Kontrol 3
0 Hari	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68
3 Hari	6,52	6,47	6,29	7,09	6,97	6,66	7,34	7,22	7,1	7,36	7,42	7,57
6 Hari	6,47	6,42	6,24	7,04	6,92	6,61	7,29	7,17	7,05	7,37	7,39	7,52
9 Hari	6,42	6,37	6,19	6,99	6,87	6,56	7,24	7,12	7,00	7,26	7,36	7,47



Dapat dilihat pada tabel suhu, terjadi penurunan suhu pada reaktor 7 dengan jumlah tumbuhan 1 di hari ke-3 hingga hari

ke-6 sebesar 0,45°C, dan terjadi kenaikan pada hari ke-9 sebesar 1,42°C. Serta terjadi penurunan pada bak kontrol 1 di hari ke-3 hingga hari ke-6 sebesar 0,78°C, dan terjadi kenaikan pada hari ke-9 sebesar 0,69°C. Terjadinya penurunan suhu pada masing-masing reaktor disebabkan karena kondisi cuaca pada saat pengambilan sampel yang tidak terlalu terik, sehingga membuat kondisi sampel menyamakan suhunya dengan lingkungan di *greenhouse*. Suhu dari tiap reaktor rata-rata berkisar antara 27,20°C – 28,80°C, sedangkan suhu optimum untuk tumbuhan *Typha Angustifolia* adalah 26°C. Hal tersebut disebabkan karena kondisi dari *greenhouse* dan lingkungan sekitar yang mencapai suhu 31,90 °C, dan dapat mempengaruhi kondisi tumbuhan tersebut. Berikut adalah tabel dan grafik dari suhu pada masing-masing reaktor :

Hari Pengukuran	Reaktor 1 1 tumbuhan	Reaktor 2 3 tumbuhan	Reaktor 3 5 tumbuhan	Reaktor 4 1 tumbuhan	Reaktor 5 3 tumbuhan	Reaktor 6 5 tumbuhan	Reaktor 7 1 tumbuhan	Reaktor 8 3 tumbuhan	Reaktor 9 5 tumbuhan	Kontrol 1	Kontrol 2	Kontrol 3
3 Hari	27,62	27,47	27,20	27,24	27,40	27,44	28,18	27,51	27,73	28,69	27,38	28,34
6 Hari	27,74	27,64	27,32	27,44	27,90	27,39	27,73	27,79	28,07	28,11	27,43	28,43
9 Hari	27,78	27,73	27,45	27,58	27,94	27,63	28,35	27,84	28,13	28,80	27,50	28,52

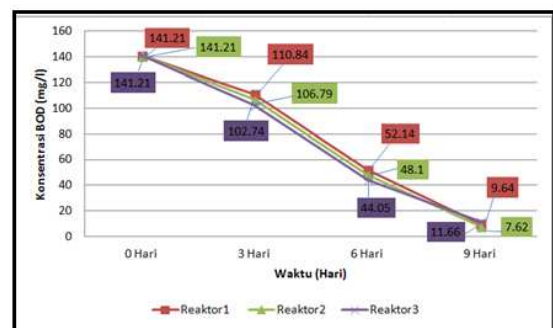


2.2 Hasil Pengukuran BOD

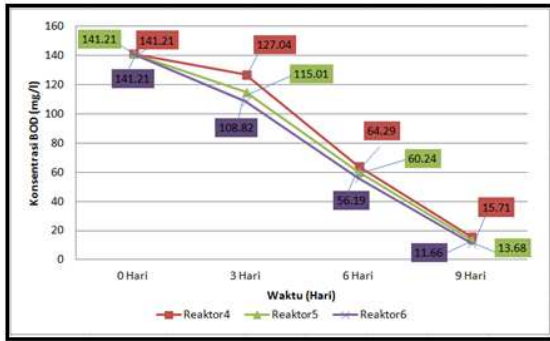
Dapat dilihat pada tabel bahwa penurunan konsentrasi BOD terkecil dengan debit 8 liter/hari terletak pada reaktor 2 dengan jumlah tumbuhan 3 sebesar 7,62 mg/l, untuk debit 10 liter/hari penurunan nilai konsentrasi terkecil terletak pada reaktor 6 dengan jumlah tumbuhan 5 sebesar 11,66 mg/l, sedangkan untuk debit 12 liter/hari nilai terkecil dari penurunan konsentrasi BOD terletak pada reaktor 9 dengan jumlah tumbuhan 5 sebesar 15,71 mg/l, dan untuk bak kontrol penurunan konsentrasi terkecil terletak pada bak kontrol 1 dengan debit 8 liter/hari dengan nilai sebesar 23,81 mg/l. Berikut adalah grafik dari hubungan konsentrasi BOD terhadap debit dan jumlah tumbuhan :

Hari Pengukuran	Konsentrasi BOD (mg/l)												
	Reaktor1	Reaktor2	Reaktor3	Reaktor4	Reaktor5	Reaktor6	Reaktor7	Reaktor8	Reaktor9	Kontrol1	Kontrol2	Kontrol3	
	1 tumbuhan	3 tumbuhan	5 tumbuhan	1 tumbuhan	3 tumbuhan	5 tumbuhan	1 tumbuhan	3 tumbuhan	5 tumbuhan	8 l/hr	10 l/hr	12 l/hr	
	8 l/hr			10 l/hr			12 l/hr						
	0 Hari	3 Hari	6 Hari	9 Hari	0 Hari	3 Hari	6 Hari	9 Hari	0 Hari	3 Hari	6 Hari	9 Hari	
0 Hari	141.21	141.21	141.21	141.21	141.21	141.21	141.21	141.21	141.21	141.21	141.21	141.21	
3 Hari	110.84	106.79	102.74	127.04	115.01	108.82	125.01	120.96	120.97	125.01	130.08	135.13	
6 Hari	52.14	48.1	44.05	64.29	60.24	56.19	74.41	68.34	64.29	78.46	82.51	88.58	
9 Hari	9.64	7.62	11.66	15.71	13.68	11.66	21.78	17.73	15.71	23.81	25.83	27.86	

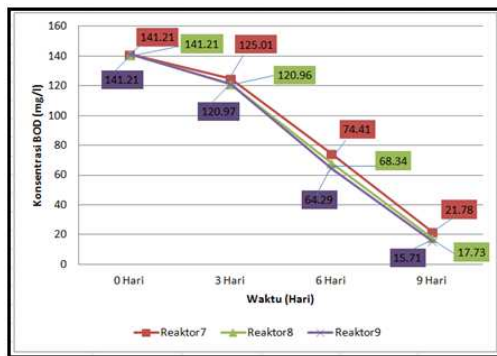
Berdasarkan grafik dapat di lihat bahwa penurunan konsentrasi BOD terjadi secara konstan. Jika dilihat pada grafik, reaktor yang memiliki nilai penurunan konsentrasi terkecil yaitu debit 8 liter/hari dengan jumlah tumbuhan 3, sedangkan untuk bak kontrol nilai terkecil dari penurunan konsentrasi BOD terkecil yaitu debit 8 liter/hari. Reaktor yang ditumbuhi oleh tumbuhan cenderung mengalami penurunan yang baik dibandingkan dengan bak reaktor. Hal tersebut dikarenakan Pelepasan oksigen oleh tumbuhan menyebabkan media pasir disekitar rambut akar tumbuhan memiliki kadar oksigen terlarut yang lebih tinggi dibandingkan dengan media pasir yang tidak ditumbuhi tumbuhan. Sehingga mikroorganisme aerob dapat hidup dalam kondisi lingkungan anaerob berkat aliran oksigen yang dilepaskan oleh akar tumbuhan dalam *rhizosphere* (Vymazal, 2008).



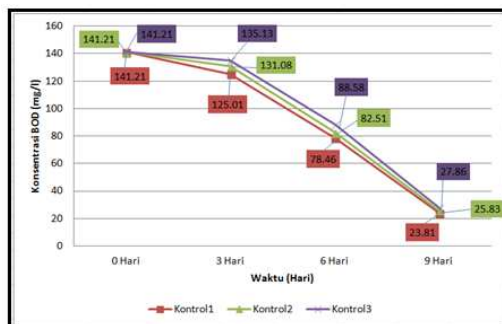
(a)



(b)



(c)



(d)

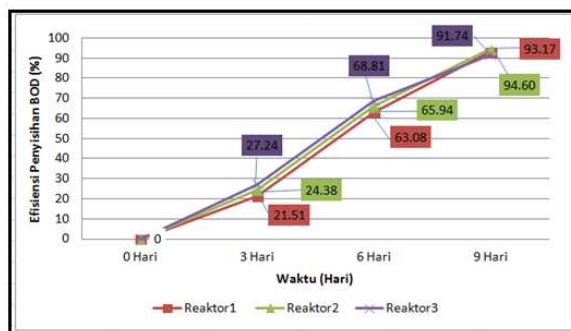
Gambar 7. (a) Hubungan Konsentrasi BOD dengan debit 8 liter/hari dan jumlah tumbuhan, (b) Hubungan Konsentrasi BOD dengan debit 10 liter/hari dan jumlah tumbuhan, (c) Hubungan Konsentrasi BOD dengan debit 12 liter/hari dan jumlah tumbuhan, dan (d) Hubungan Konsentrasi BOD dengan debit 8, 10, 12 liter/hari.

Dapat dilihat pada tabel bahwa efisiensi terbesar pada konsentrasi BOD untuk debit 8 liter/hari terletak pada reaktor 2 dengan jumlah tumbuhan 3 sebesar 94,60%, untuk debit 10 liter/hari efisiensi penyisihan terbesar terletak pada reaktor 6 dengan jumlah tumbuhan 5 sebesar 91,74%, sedangkan untuk debit 12 liter/hari terletak pada reaktor 9 dengan jumlah tumbuhan 5 sebesar 88,87%. Dan untuk bak kontrol dengan efisiensi penyisihan terbesar terletak pada bak kontrol 1 dengan debit 8 liter/hari sebesar 83,14%. Berikut adalah tabel dari efisiensi penyisihan konsentrasi BOD :

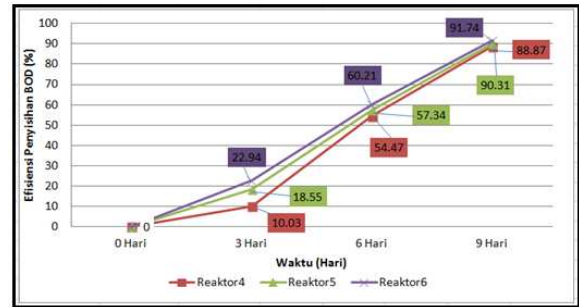
Hari Pengukuran	Efisiensi Penyisihan Konsentrasi BOD (%)											
	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3	Reaktor 4	Reaktor 5	Reaktor 6	Reaktor 7	Reaktor 8	Reaktor 9	Kontrol 1	Kontrol 2	Kontrol 3
	1 tumbuhan	3 tumbuhan	5 tumbuhan	1 tumbuhan	3 tumbuhan	5 tumbuhan	1 tumbuhan	3 tumbuhan	5 tumbuhan	8 l/hr	10 l/hr	12 l/hr
	8 l/hr			10 l/hr			12 l/hr					
	0 Hari	3 Hari	6 Hari	9 Hari	0 Hari	3 Hari	6 Hari	9 Hari	0 Hari	3 Hari	6 Hari	9 Hari
0 Hari	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Hari	21,51	24,38	27,24	10,03	18,55	22,94	11,47	14,34	14,33	11,47	7,17	4,31
6 Hari	63,08	65,94	68,81	54,47	57,34	60,21	47,31	51,60	54,47	44,44	41,57	37,27
9 Hari	93,17	94,60	91,74	88,87	90,31	91,74	84,58	87,44	88,87	83,14	81,71	80,27

Berdasarkan grafik terlihat bahwa masing-masing reaktor masih mengalami kenaikan, dimana Reaktor 2 dengan 3 tumbuhan dan debit 8 liter/hari memiliki nilai efisiensi penyisihan terbesar yang mencapai 94,60%, sedangkan untuk bak kontrol efisiensi penyisihan terbesar terletak pada bak kontrol 1 dengan debit 8 liter/hari sebesar 83,14%. Berdasarkan data tersebut

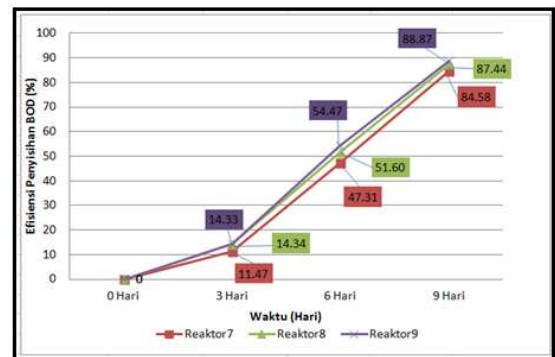
maka dapat disimpulkan bahwa keberadaan tumbuhan *typha angustifolia* pada reaktor meningkatkan efisiensi pengolahan. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan tumbuhan pada reaktor lebih memberikan pengaruh terhadap penyisihan BOD bila dibandingkan dengan reaktor yang tidak ditanam tumbuhan. Dengan adanya tumbuhan, jumlah oksigen yang tersedia dalam media akan lebih besar sehingga akan mendukung pertumbuhan mikroba dengan lebih baik, selain itu juga ada kemungkinan reaktor *vertical sub-surface flow* yang ditanami *typha angustifolia* memiliki porositas media yang sedikit lebih besar dibandingkan reaktor tanpa tumbuhan akibat pengaruh akar tumbuhan yang menjadikan media pada reaktor lebih porous. Berikut adalah grafik efisiensi penyisihan BOD :



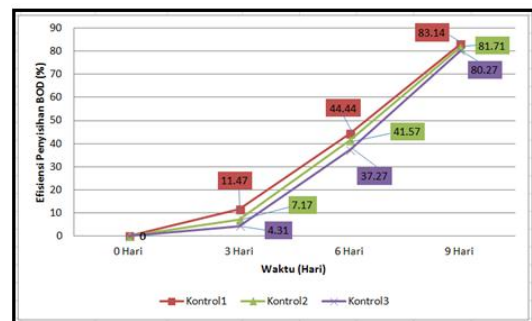
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 8. (a) Hubungan Efisiensi Penyisihan BOD dengan debit 8 liter/hari dan jumlah tumbuhan, (b) Hubungan Efisiensi Penyisihan BOD dengan debit 10 liter/hari dan jumlah tumbuhan, (c) Hubungan Efisiensi Penyisihan BOD dengan debit 12 liter/hari dan jumlah tumbuhan, dan (d) Hubungan Efisiensi

Penyisihan BOD dengan debit 8, 10, 12 liter/hari

Untuk melihat apakah dalam model regresi variabel terikat dan variabel bebas keduanya mempunyai distribusi normal atau tidak, dapat dilihat pada tabel Analisa data mensyaratkan data berdistribusi normal untuk menghindari bias dalam analisis data (Sarwono, 2012). Data *outliner* (tidak normal) harus dibuang karena menimbulkan bias dalam interpretasi dan mempengaruhi data lainnya. Metode pengambilan keputusan untuk uji normalitas sebagai berikut :

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		konsentrasiBOD
N		27
Normal Parameters ^a	Mean	62.7933
	Std. Deviation	42.97120
Most Extreme Differences	Absolute	.163
	Positive	.163
	Negative	-.157
Kolmogorov-Smirnov Z		.849
Asymp. Sig. (2-tailed)		.467
a. Test distribution is Normal.		

Tabel 1. Analisis SPSS Uji Normalitas dengan 1-Sampel Kolmogrov-Smirnov

Untuk uji normalitas metode pengambilan keputusan sebagai berikut :

Jika nilai signifikansi (Asym. Sig) > 0,05 maka data berdistribusi normal

Jika nilai signifikansi (Asym.sig) < 0,05 maka data tidak berdistribusi normal

Dari hasil analisa SPSS 16.0 dapat diketahui bahwa data Konsentrasi BOD

diperoleh nilai Asymp. Sig. (2-tailed) sebesar 0,467. Berdasarkan hasil tersebut dapat dinyatakan bahwa nilai variabel tersebut adalah normal.

Untuk mengetahui analisa hubungan dan seberapa besar pengaruh debit dan jumlah tumbuhan terhadap konsentrasi BOD₅ pada lindi. Dapat dilihat pada tabel 2 output SPSS 16.0 berikut :

		konsentrasiBOD
jumlahtumbuhan	Pearson Correlation	-.070
	Sig. (2-tailed)	.003
	N	27
debit	Pearson Correlation	.553
	Sig. (2-tailed)	.000
	N	27

Tabel 2 Analisis SPSS Uji Auto Correlation Regresi dengan Pearson Correlation

Untuk pedoman analisis korelasi, jika nilai koefisien korelasi mendekati 1 atau -1 maka hubungan semakin erat atau kuat, jika mendekati 0 maka hubungan semakin lemah, atau dapat menggunakan pedoman yang dikemukakan oleh (Sarwono, 2012) Pedoman untuk memberikan interpretasi koefisien korelasi dapat dilihat pada Tabel dibawah ini :

Rentang Nilai Korelasi	Keputusan
0,00 – 0,199	Sangat Rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat Kuat

Dari analisa menggunakan SPSS 16.0 dapat diketahui bahwa korelasi antara variabel jumlah tumbuhan dengan konsentrasi BOD didapat nilai korelasi sebesar 0.070. Angka korelasi yang negatif menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang negatif, artinya semakin banyak jumlah tumbuhan maka konsentrasi BOD semakin menurun. Nilai tersebut masuk kedalam kategori koefisien korelasi yang sangat rendah. Sedangkan korelasi antara variabel debit dengan konsentrasi BOD didapat nilai korelasi sebesar 0,553 angka korelasi yang positif menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang positif, artinya semakin besar debit maka konsentrasi BOD semakin naik. Nilai tersebut masuk ke dalam kategori koefisien korelasi yang sedang. Nilai signifikansi dari data di atas menunjukkan bahwa hubungan antara variabel jumlah tumbuhan dengan konsentrasi BOD didapat nilai korelasi sebesar 0.003, dan untuk hubungan antara variabel debit dengan konsentrasi BOD didapat nilai korelasi sebesar 0,000. Dari nilai signifikansi tersebut dapat disimpulkan bahwa hubungan antara variable jumlah tumbuhan dan variabel debit terhadap konsentrasi BOD tersebut adalah signifikan. Maksudnya adalah, variabel jumlah tumbuhan dan debit

memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap konsentrasi BOD. Sedangkan untuk mengetahui seberapa besar kedua variabel independen memberikan pengaruh pada konsentrasi BOD, dapat dilihat pada tabel :

Model Summary ^b										
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.995 ^a	.991	.989	4.40531	.991	816.953	3	23	.000	1.252
a. Predictors: (Constant), hari, debit, jumlahtumbuhan										
b. Dependent Variable: konsentrasiBOD										

Tabel 3. Analisa SPSS Uji Regresi Model Summary^b

Tabel 3 menjelaskan besarnya pengaruh jumlah tumbuhan dan debit terhadap konsentrasi BOD. Koefisien determinasinya adalah 0,995 yang artinya bahwa kedua faktor tersebut mempengaruhi konsentrasi BOD sebesar 99,5%. Sedangkan 0,5% lainnya dipengaruhi oleh variabel lain seperti banyaknya daun, tunas dalam satu rekator, atau bisa berasal dari besar dan kecilnya tumbuhan.

Untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan antara variabel jumlah tumbuhan dan debit terhadap penurunan konsentrasi BOD dapat dilihat pada tabel 4

Coefficients ^a					
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	156.364	3.695		.000
	jumlahtumbuhan	-3.598	1.038	-.070	.002
	debit	7.534	1.038	.146	.000
	hari	-50.722	1.038	-.982	.000

a. Dependent Variable: konsentrasiBOD

Tabel 4. Analisa SPSS Uji T

Tabel 4 menunjukkan bahwa perbedaan antara jumlah tumbuhan dan debit terhadap konsentrasi BOD terlihat secara signifikan. Artinya, terjadi Jumlah tumbuhan dan debit signifikansi mempengaruhi konsentrasi BOD pada setiap pengujian sampel selama 9 hari. Hasil dari tabel tersebut menunjukkan angka <0,05. Dan dapat dipastikan bahwa konsentrasi BOD mengalami penurunan atau perbedaan pada tiap pengukuran.

Setelah melihat tabel diatas yang artinya jumlah tumbuhan dan debit signifikan mempengaruhi konsentrasi BOD, Maka disimpulkan melalui persamaan regresi sebagai berikut :

$$Y = 156,364 - 3,598 X_1 + 7,534 X_2 - 50,722 X_3$$

Keterangan : Y = Konsentrasi BOD

X₁ = Jumlah Tumbuhan

X₂ = Debit

X₃ = Hari

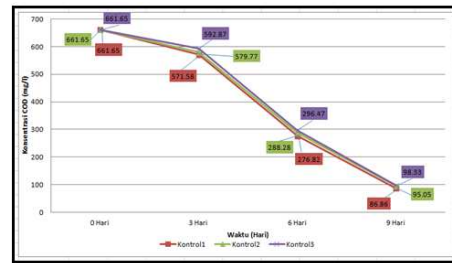
Pada data diatas dapat dilihat bahwa nilai Beta pada jumlah tumbuhan bernilai

negatif yang artinya bahwa pengaruh jumlah tumbuhan terhadap konsentrasi BOD berjalan negatif. Sehingga semakin banyak jumlah tumbuhan maka nilai konsentrasi dari BOD semakin menurun. Untuk nilai Beta pada debit yaitu positif yang artinya bahwa pengaruh debit terhadap konsentrasi BOD berjalan positif. Sehingga semakin besar debit maka nilai konsentrasi dari BOD akan semakin naik. Sedangkan uilai Beta untuk hari yaitu negative, yang artinya bahwa pengaruh hari terhadap nilai konsentrasi BOD berjalan negatif, sehingga semakin lama hari pengamatan makan nilai konsentrasi BOD akan semakin menurun.

2.3 Hasil Pengukuran COD

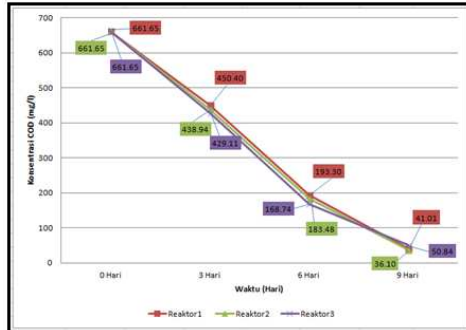
Dapat dilihat pada tabel berikut bahwa nilai konsentrasi COD terkecil dengan debit 8 liter/hari terletak pada reaktor 3 dengan jumlah tumbuhan 3, untuk debit 10 liter/hari dapat dilihat pada tabel bahwa nilai konsentrasi terkecil terletak pada reaktor 6 dengan jumlah tumbuhan 5. Sedangkan untuk debit 12 liter/hari nilai konsentrasi BOD terkecil terletak pada reaktor 9 dengan jumlah tumbuhan 5. Dan untuk bak kontrol nilai konsentrasi COD terkecil terletak pada bak kontrol 1 dengan debit 8 liter/hari. Berikut tabel dari penurunan konsentrasi COD :

Hari Pengukuran	Konsentrasi COD (mg/l)											
	Reaktor1	Reaktor2	Reaktor3	Reaktor4	Reaktor5	Reaktor6	Reaktor7	Reaktor8	Reaktor9	Kontrol1	Kontrol2	Kontrol3
	1	3	5	1	3	5	1	3	5	8 l/hr	10 l/hr	12 l/hr
	tumbuhan	tumbuhan	tumbuhan	tumbuhan	tumbuhan	tumbuhan	tumbuhan	tumbuhan	tumbuhan			
	8 l/hr			10 l/hr			12 l/hr					
0 Hari	661.65	661.65	661.65	661.65	661.65	661.65	661.65	661.65	661.65	661.65	661.65	661.65
3 Hari	450.40	438.94	429.11	512.63	502.80	494.61	565.03	553.56	543.74	571.58	579.77	592.87
6 Hari	193.30	183.48	168.74	235.88	226.06	216.23	265.36	225.53	244.07	276.82	288.28	296.47
9 Hari	41.01	36.10	50.04	65.57	62.30	50.04	81.95	77.04	60.66	86.06	95.05	98.33

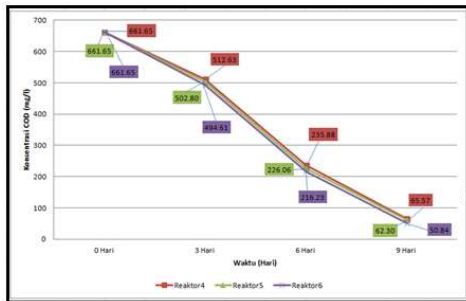


(d)

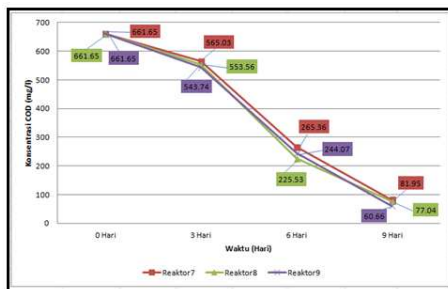
Gambar 13. (a) Hubungan Konsentrasi COD dengan debit 8 liter/hari dan jumlah tumbuhan, (b) Hubungan Konsentrasi COD dengan debit 10 liter/hari dan jumlah tumbuhan, (c) Hubungan Konsentrasi COD dengan debit 12 liter/hari dan jumlah tumbuhan, dan (d) Hubungan Konsentrasi COD dengan debit 8, 10, 12 liter/hari.



(a)



(b)



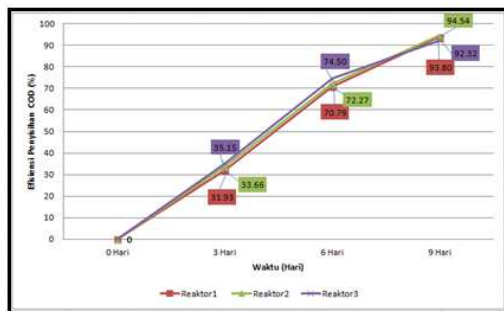
(c)

Untuk mengetahui efisiensi penyisihan terbesar pada konsentrasi COD dapat dilihat pada tabel 4.12. Dapat dilihat pada tabel bahwa efisiensi terbesar pada konsentrasi COD untuk debit 8 liter/hari terletak pada reaktor 2 dengan jumlah tumbuhan 3 sebesar 94,54%, untuk debit 10 liter/hari efisiensi penyisihan terbesar terletak pada reaktor 6 dengan jumlah tumbuhan 5 sebesar 92,32%, sedangkan untuk debit 12 liter/hari terletak pada reaktor 9 dengan jumlah tumbuhan 5 sebesar 90,83%. Dan untuk bak kontrol dengan efisiensi penyisihan terbesar terletak pada bak kontrol 1 dengan debit 8 liter/hari

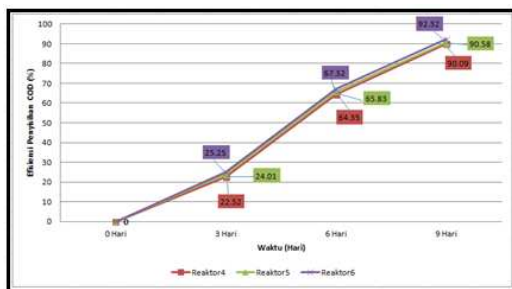
sebesar 86,87%. Berikut adalah tabel dari efisiensi penyisihan konsentrasi BOD :

Hari Pengukuran	Konsentrasi COD (%)											
	Reaktor1	Reaktor2	Reaktor3	Reaktor4	Reaktor5	Reaktor6	Reaktor7	Reaktor8	Reaktor9	Kontrol1	Kontrol2	Kontrol3
	1 tumbuhan	3 tumbuhan	5 tumbuhan	1 tumbuhan	3 tumbuhan	5 tumbuhan	1 tumbuhan	3 tumbuhan	5 tumbuhan	0 l/hr	10 l/hr	12 l/hr
	8 l/hr			10 l/hr			12 l/hr			0 l/hr	10 l/hr	12 l/hr
0 Hari	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Hari	31.93	33.66	35.15	22.52	24.01	25.25	14.60	16.34	17.82	13.61	12.38	10.40
6 Hari	70.79	72.27	74.50	64.35	65.83	67.32	59.89	65.91	63.11	58.16	56.43	55.19
9 Hari	93.80	94.54	92.32	90.09	91.58	92.32	87.61	88.36	90.83	86.07	85.63	85.14

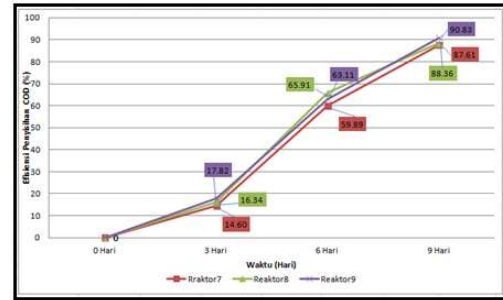
Untuk efisiensi penyisihan konsentrasi COD terlihat bahwa masing-masing reaktor masih mengalami kenaikan, dimana Reaktor 2 dengan 3 tumbuhan dan debit 8 liter/hari mencapai 94,54%, sedangkan untuk Bak Kontrol terjadi kenaikan pada Bak Kontrol 1 dengan debit 8 liter/hari mencapai 86,87%. Berikut adalah grafik dari efisiensi penyisihan konsentrasi COD :



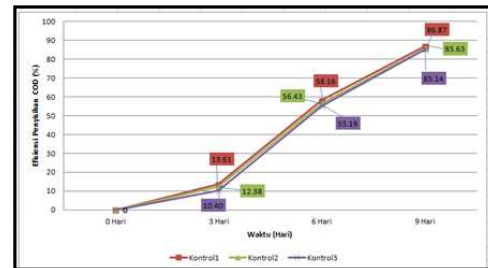
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 14. (a) Hubungan Efisiensi Penyisihan COD dengan debit 8 liter/hari dan jumlah tumbuhan, (b) Hubungan Efisiensi Penyisihan COD dengan debit 10 liter/hari dan jumlah tumbuhan, (c) Hubungan Efisiensi Penyisihan COD dengan debit 12 liter/hari dan jumlah tumbuhan, dan (d) Hubungan Efisiensi Penyisihan COD dengan debit 8, 10, 12 liter/hari

Kecilnya selisih efisiensi antara reaktor yang ditanami oleh tumbuhan dan yang tidak ditanami oleh tumbuhan memberikan kesimpulan bahwa penyisihan COD yang terjadi dalam reaktor terutama terjadi akibat proses fisik berupa filtrasi

yang dibantu oleh pendegradasian materi organik yang terperangkap diantara media oleh mikroorganisme pendegradasian. Kemungkinan lainnya adalah bakteri-bakteri yang tumbuh dalam media pasir lebih berpengaruh dalam pengolahan lindi daripada bakteri yang berasal dari tumbuhan (Nurulhuda, 2010)

Untuk melihat apakah dalam model regresi variabel terikat dan variabel bebas keduanya mempunyai distribusi normal atau tidak, dapat dilihat pada tabel 5. Analisa data mensyaratkan data berdistribusi normal untuk menghindari bias dalam analisis data (Sarwono, 2012). Data *outliner* (tidak normal) harus dibuang karena menimbulkan bias dalam interpretasi dan mempengaruhi data lainnya. Metode pengambilan keputusan untuk uji normalitas sebagai berikut :

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		konsentrasiCOD
N		27
Normal Parameters ^a	Mean	258.3622
	Std. Deviation	188.66735
Most Extreme Differences	Absolute	.160
	Positive	.160
	Negative	-.151
Kolmogorov-Smirnov Z		.830
Asymp. Sig. (2-tailed)		.495
a. Test distribution is Normal.		

Tabel 5. Analisis SPSS Uji Normalitas dengan 1-Sampel Kolmogrov-Smirnov

Dari hasil analisa SPSS 16.0 dapat diketahui bahwa data Konsentrasi COD diperoleh nilai Asymp. Sig. (2-tailed) sebesar 0,495. Berdasarkan hasil tersebut dapat dinyatakan bahwa nilai variabel tersebut adalah normal.

Untuk mengetahui analisa hubungan dan seberapa besar pengaruh debit dan jumlah tumbuhan terhadap konsentrasi COD pada lindi. Dapat dilihat pada tabel *output* SPSS 16.0 berikut :

Correlations		
		konsentrasiCOD
jumlahtumbuhan	Pearson Correlation	-.037
	Sig. (2-tailed)	.002
	N	27
debit	Pearson Correlation	.521
	Sig. (2-tailed)	.000
	N	27

Tabel 6. Analisis SPSS Uji Auto Correlation Regresi dengan Pearson Correlation

Dari analisa menggunakan SPSS 16.0 dapat diketahui bahwa korelasi antara variabel jumlah tumbuhan dengan konsentrasi COD didapat nilai korelasi sebesar 0.037. Angka korelasi yang negatif menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang negatif, artinya semakin banyak jumlah tumbuhan maka konsentrasi COD semakin menurun. Nilai tersebut masuk kedalam

kategori koefisien korelasi yang sangat rendah. Sedangkan korelasi antara variabel debit dengan konsentrasi COD didapat nilai korelasi sebesar 0,521 Angka korelasi yang positif menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang positif, artinya semakin besar debit maka konsentrasi COD semakin naik. Nilai tersebut masuk kedalam kategori koefisien korelasi yang sedang. Nilai signifikansi dari data di atas menunjukkan bahwa hubungan antara variabel jumlah tumbuhan dengan konsentrasi COD didapat nilai korelasi sebesar 0.002, dan untuk hubungan antara variabel debit dengan konsentrasi COD didapat nilai korelasi sebesar 0,000. Dari nilai signifikansi tersebut dapat disimpulkan bahwa hubungan antara variabel jumlah tumbuhan dan variabel debit terhadap konsentrasi COD tersebut adalah signifikan. Maksudnya adalah, variabel jumlah tumbuhan dan debit memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap konsentrasi COD. Sedangkan untuk mengetahui seberapa besar kedua variabel independen memberikan pengaruh pada konsentrasi COD, dapat dilihat pada tabel 7

Model Summary ^a										
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.984 ^a	.968	.964	35.69362	.968	234.472	3	23	.000	.571
a. Predictors: (Constant), hari, debit, jumlahtumbuhan										
b. Dependent Variable: konsentrasiCOD										

Tabel 7. Analisa SPSS Uji Regresi Model Summary^b

Tabel 7 menjelaskan besarnya pengaruh Jumlah tumbuhan dan debit terhadap konsentrasi COD. Koefisien determinasinya adalah 0,984 yang artinya bahwa kedua faktor tersebut mempengaruhi konsentrasi COD sebesar 98,4%. Sedangkan 1,6% lainnya dipengaruhi oleh variabel lain seperti banyaknya daun, tunas dalam satu reaktor, atau bisa berasal dari besar dan kecilnya tumbuhan.

Untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan antara variabel jumlah tumbuhan dan debit terhadap penurunan konsentrasi COD dapat dilihat pada tabel 8

Coefficients ^a					
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	Sig.
		B	Std. Error	Beta	
1	(Constant)	646.338	29.942		.000
	jumlahtumbuhan	-2.461	8.413	-.037	.032
	debit	34.723	8.413	.153	.000
	hari	-220.251	8.413	-.971	.000

a. Dependent Variable: konsentrasiCOD

Tabel 8. Analisa SPSS Uji T

Tabel 8 menunjukkan bahwa perbedaan antara jumlah tumbuhan dan debit terhadap konsentrasi COD terlihat secara signifikan. Artinya, jumlah tumbuhan dan debit signifikan mempengaruhi konsentrasi COD pada setiap pengujian

sampel selama 9 hari. Hasil dari tabel tersebut menunjukkan angka $<0,05$, dan dapat dipastikan bahwa konsentrasi COD mengalami penurunan atau perbedaan pada tiap pengukuran.

Setelah melihat tabel di atas yang artinya jumlah tumbuhan dan debit signifikan mempengaruhi konsentrasi COD, maka disimpulkan melalui persamaan regresi sebagai berikut :

$$Y = 646,338 - 2,461 X_1 + 34,723 X_2 - 220,251 X_3$$

Keterangan : Y = Konsentrasi COD

X_1 = Jumlah Tumbuhan

X_2 = Debit

X_3 = Hari

Pada data diatas dapat dilihat bahwa nilai Beta pada jumlah tumbuhan bernilai negatif yang artinya bahwa pengaruh jumlah tumbuhan terhadap konsentrasi BOD berjalan negatif. Sehingga semakin banyak jumlah tumbuhan maka nilai konsentrasi dari BOD semakin menurun. Untuk nilai Beta pada debit yaitu positif yang artinya bahwa pengaruh debit terhadap konsentrasi BOD berjalan positif. Sehingga semakin besar debit maka nilai konsentrasi dari BOD akan semakin naik. Sedangkan uilai Beta untuk hari yaitu negative, yang artinya

bahwa pengaruh hari terhadap nilai konsentrasi BOD berjalan negatif, sehingga semakin lama hari pengamatan maka nilai konsentrasi BOD akan semakin menurun

Berdasarkan hasil penelitian Hutari Winursita, 2013 mengenai penyisihan BOD dan COD terhadap limbah catering yang menggunakan metode *Sub-Surface Flow System* terhadap pengaruh debit dan jumlah tumbuhan yang berbeda maka dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan efisiensi yang cukup besar pada COD dengan debit terkecil dan jumlah tumbuhan paling sedikit, sedangkan untuk kenaikan efisiensi pada BOD terjadi pada debit terbesar dengan jumlah tumbuhan paling sedikit. Oleh karena itu penelitian ini berjalan sesuai dengan penelitian terdahulu, bahwa jumlah tumbuhan terbanyak belum tentu dapat mereduksi limbah dengan optimum.

D. Kesimpulan dan Saran

1. Kesimpulan

- A. Tumbuhan Typha mampu melakukan penyisihan lindi terhadap konsentrasi BOD dan COD dengan menggunakan metode *Constructed Wetland*.
- B. Reaktor yang mengalami efisiensi tertinggi untuk konsentrasi BOD terdapat pada reaktor 2 dengan 3 tumbuhan dan debit 8 liter/hari mencapai 94,60%. Sedangkan untuk

konsentrasi COD terdapat pada reaktor yang sama, dengan jumlah tumbuhan 3 dan debit 8 liter/hari mencapai 94,54%.

- C. Analisis data secara statistik (SPSS 16.0) menyatakan bahwa debit dan jumlah tumbuhan mempengaruhi penurunan konsentrasi COD dan BOD. Tetapi untuk hubungan antara jumlah tumbuhan terhadap konsentrasi BOD dan COD sangat rendah, sedangkan besaran debit dengan konsentrasi BOD dan COD hubungannya bisa dikatakan sedang.

2. Saran

- A. Penelitian ini perlu dikaji lebih dalam lagi dengan metode yang sama untuk parameter yang berbeda.
- B. Diperlukannya penambahan media berpori yang berdiameter besar pada bagian *effluent* agar tidak terjadi *clogging*.
- C. Melakukan penjenruhan reaktor yang lebih dari 2 hari agar dapat mengetahui kebocoran yang terjadi di reaktor

B. Daftar Pustaka

Abdulgani, Hamdani. 2013. *Pengolahan Limbah Cair Industri Kerupuk Dengan Sistem Subsurface Flow Constructed Wetland Menggunakan Tanaman Typha Angustifolia (Studi Kasus Limbah Cair Sentra Industri Kerupuk Desa Kenanga Kecamatan*

Sindang Kabupaten Indramayu Jawa Barat). Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia. Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia.

Alaerts, G dan Santika. 1984. *Metoda Penelitian Air*. Penerbit Usaha Nasional : Surabaya.

Ariani, Diah Muslikha. 2009. *Perencanaan SubSurface Flow Constructed Wetland Dalam Pengolahan Efluen Tangki Septik Pada Daerah Air Tanah Dangkal (Studi Kasus: Perumahan Istana Bestari Kota Pasuruan)*

Bo Ah, Lee 2007. *The Optimal Environmental Ranges for Wetland Plants: II. Scirpus tabernaemontani and Typha latifolia*. Department of Biology Education, Seoul National University, Seoul 151-748, Korea.

Brix, Hans. 1994. *Use Of Constructed Wetlands In Water Pollution Control : Historical Development, Present Status, and Future Perspectives*. Department Of Plant Ecology, Institute Of Biological Sciences, University Of Aarhus. Nordlandsvej. 68, DK-8240. Risskov, Denmark

Coleman, Jerry. And Hench, Keith. 2000. *Treatment Of Domestic Wastewater By Three Plant Species In Constructed Wetlands*. Department of Biology, and 2 Division of Plant and Soil Sciences, West Virginia University, Morgantown, WV, U.S.A.

Crites and Tchobanoglous. 1998. *Treatment Wetland*, Second Edition. Technology and Engineering.

Efendi, Hefni. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.

Gunawan, Ismaryanto. 2013. *Studi Kemampuan Vertical Subsurface Flow Constructed Wetlands Dalam Menyisihkan COD, Nitrit, dan Nitrat*

Pada Air Lindi (Studi Kasus: TPA Ngronggo, Salatiga). Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP, Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang

LaGrega, Michael D. Buckingham, Phillip L. Evans, Jeffery C. 1994. *Hazardous Waste Management*. McGraw-Hill.

Metcalf and Eddy. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math.

Metcalf and Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math.

Pohland, F. G. and S. R. Harper. 1985. *Critical Review and Summary of Leachate and Gas Production from Landfills*, Report to EPA, WERL, Coop. Agreement CR809997, Cincinnati, Ohio.

Reddy dan DeBusk. 1985. *Nutrient Removal Potential of Select Aquatic*

- Macrophytes*. Jurnal of Environmental Quality.
- Reed, Sherwood. C .1993. *Subsurface Flow Constructed Wetlands For WasteWater Treatment*. United States Office Of Water EPA 832-R-93-008 Environmental Protection (4204).
- Sarwono, J. dan Budiono, H. 2012. *Statistik Terapan Aolikasi Riset Skripsi, Tesis dan Disertasi Menggunakan SPSS, AMOS, dan Excel*. PT. Gramedia, Jakarta.
- Supradata, 2005. Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias *Cyperus alternifolius*, L. Dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands). Tesis-Magister Ilmu Lingkungan.
- Syarifah, Masayu N. 2010. *Penyisihan Senyawa Non Logam Pada Lindi Menggunakan Constructed Wetland*. Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa 10 Bandung 40132
- Vymazal, Jan. and Kropfelova, Lenka. 2008. *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands With Horizontal Sub-Surface Flow*. Environmental Pollution 14. Springer Science. Crench Republic
- Winursita, H. 2013. *Penurunan BOD COD pada Limbah Katering Menggunakan Pengolahan Fisik dan Konstruksi Subsurface-Flow Wetland dengan Tumbuhan Kana (Canna indica)*, Tugas Akhir Teknik FTSP-ITS, Surabaya.
- www.Wordpress.com/Metodologi Penelitian. 2012.
- www.Wikipedia.org/wiki/Hipotesis. 2013